

اندازه گیری تشعشعات زمینه طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

دکتر داریوش شهبازی گهرویی *

چکیده:

ساکتین کره زمین همواره تحت تابش پرتوهای زمینه طبیعی شامل پرتوهای کیهانی و پرتوهای زمینی بوده و خواهند بود. این پرتوها سبب بروز عوارض ناهنجار گوناگونی در انسان می شوند. در بیشتر نقاط دنیا و مخصوصاً در کشورهای پیشرفته چندین بار اندازه گیری پرتوهای زمینه صورت گرفته است. ایران یکی از معدود کشورهایی است که اطلاعات دقیق و جامعی را در این ارتباط به کمیته بین المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) ارائه نداده است. اگر چه اندازه گیریها در برخی از استانها (مازندران، تهران، اصفهان و غیره) انجام شده است ولی اطلاعات مکتوبی در این زمینه وجود ندارد. اندازه گیری تشعشعات زمینه طبیعی در استان چهارمحال و بختیاری که جزء مناطق کوهستانی و ارتفاع بلند می باشد، ضروری بوده تا بتوان اطلاعات جامعی را در این ارتباط به دست آورد. چرا که به نظر می رسد میزان پرتوهای زمینه در مناطق کوهستانی و با ارتفاع بلندتر، بیشتر می باشد. با استفاده از دوزیمتر حساس به پرتوهای هسته ای (گایگر - مولر) و با مراجعه به نقاط مختلف استان در هر نقطه، ۸ اندازه گیری انجام شد و میانگین آنها به عنوان پرتودهی آن نقطه محسوب گردید. میانگین آهنگ پرتودهی برابر با (میکرورونتگن بر ساعت) $28.4 \pm 1.4 \mu R/h$ و میانگین آهنگ دوز جذبی (نانوگری بر ساعت) 49 nGy/h و دوز معادل مؤثر سالیانه نیز برابر با (میلی سیورت) 0.49 mSv بر آورد شده است. این مقادیر از حد میانگین جهانی بیشتر بوده ولی از نقاط با پرتودهی بالای جهان کمتر می باشند. بنابراین احتمال شیوع سرطانها و ارتباط آنها با پرتوها و هم چنین اثر پرتوها بر روی طول عمر از نکاتی است که باید مورد تحقیق بیشتر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تشعشعات زمینه، پرتودهی، دوز جذبی، دوزیمتری، چهارمحال و بختیاری.

مقدمه:

می باشد که شامل پرتوهای ایکس (X-ray) اولیه و پرتوهای انرژی دار هستند. با برخورد این پرتوها به اتمهای لایه های خارجی اتمسفر، پرتوهای ثانویه $(e^-, e^+, \gamma, n, \dots)$ حاصل می شوند. قسمت اعظم این پرتوها در طبقات مختلف اتمسفر جذب شده و قسمتی از آنها نیز به سطح زمین می رسند (۵، ۶). به این دسته از پرتوهای جدید، پرتوهای کیهانی ثانویه گویند. هر چقدر

انسان در محیط زیست خود به طور طبیعی از پرتوهای کیهانی که از فضای خارج از جو بر زمین فرود می آیند و پرتوهای گسیل شده از مواد پرتوزای اولیه موجود در پوسته زمین تحت پرتوگیری مستمر قرار دارد (۲). علاوه بر منابع طبیعی، انسان در محیط زیست خود نیز از چشمه های صنعتی، پزشکی و غیره نیز پرتوگیری می نماید. منشأ پرتوهای کیهانی از خورشید و جو

* استادیار گروه فیزیک پزشکی - دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد: رحمتیه - دانشکده پزشکی - تلفن: ۳۳۳۵۶۵۴ - ۰۳۸۱ - داخلی ۲۲۳۳.

ضخامت جو زمین بیشتر باشد، اثر پرتوهای کیهانی بر روی بدن انسان کمتر بوده و پرتوگیری مردم نیز کاهش می‌یابد (۲،۱).

پرتوگیری انسان از پرتوهای کیهانی با افزایش ارتفاع و تغییر عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد و تندی دوز جذبی ناشی از پرتوهای کیهانی در هوا به ازای اضافه شدن هر ۱۵۰۰ متر ارتفاع، دو برابر می‌شود (۷،۳). البته اثر ارتفاع نسبت به عرض جغرافیایی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در اثر برخورد پرتوهای کیهانی با جو زمین ممکن است واکنشهای هسته‌ای بین آنها و اتمهای موجود در جو صورت گیرد که حاصل آن تولید رادیونوکلیدهای کیهان را در داخل جو می‌باشد. این واکنشها غالباً با اتمهای هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن و آرگون انجام گرفته و عناصر پرتوزایی همانند ^{23}Na ، ^{14}C ، ^7Be ، ^3H را به وجود می‌آورند. دوز جذبی کل بدن ناشی از این رادیونوکلیدها (گری) $13/3 \text{ Gy}$ در سال برآورده شده است (۷). از دیگر منابع پرتوزای محیط زیست، رادیونوکلیدهای موجود در پوسته زمین می‌باشند. این رادیونوکلیدها همراه با پیدایش زمین وجود داشته و به علت دارا بودن نیمه عمر طولانی هنوز به فعالیت خود ادامه می‌دهند (۵). از میان این عناصر، سهم عمده پرتوگیری از منابع طبیعی ناشی از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K می‌شود. این منابع پرتوزا، از دو طریق داخلی و خارجی موجب پرتوگیری بدن انسان می‌گردد. در اثر ورود مواد پرتوزای طبیعی مانند گاز رادون و تورون و عناصر پرتوزای موجود در بافت زنده همانند ^{40}K و ^{87}Rb پرتوگیری بدن به صورت داخلی از این مواد صورت می‌پذیرد (۵).

از سالهای ۱۹۵۱ و ۱۹۷۷ تاکنون کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه ICRP (International Commission on Radiological Protection) اندازه‌گیری تشعشعات زمینه را شروع کرده و همچنان ادامه دارد. همه‌گیر بودن پرتوگیری از منابع طبیعی نیز

موجب اهمیت بیشتر آن شده است. بدین جهت بررسی و اندازه‌گیری پرتوگیری مردم نواحی مختلف دنیا حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که در مناطق با پرتودهی زمینه بالا، پرتوگیری مردم از حد پرتوگیری در محیطهای دیگر جهان بیشتر است، دوزیمتری و بررسیهای اپیدمیولوژیکی در این مناطق از اهمیت بیشتری برخوردار است. در برخی از کشورها مناطقی با پرتودهی زمینه بالا مشاهده گردیده است (۴،۳،۱). در استانهای لازيو و کامپانیا در ایتالیا و مناطقی در برزیل، فرانسه، هندوستان، نیجریه و ماداگاسکار و منطقه رامسر در ایران ذاتاً دارای پرتودهی محیط باز (outdoor) بالایی می‌باشند (۴،۳،۲،۱). البته باید متذکر شد که اندازه‌گیری میزان پرتودهی تشعشعات در ایران در تمامی نقاط کشور صورت نگرفته و واقعاً اطلاعات مفید و ارزشمندی در این راستا به سازمان جهانی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) ارائه نشده است. بدین منظور در بیشتر نقاط ایران این اندازه‌گیریها در حال انجام بوده تا بلکه این اطلاعات در اختیار تمامی سازمانهای مربوطه قرار داده شود. هدف از این تحقیق، اندازه‌گیری تشعشعات زمینه استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که در نهایت اطلاعات مربوط به میزان تشعشعات زمینه را بتوان برآورد نمود.

با توجه به این که استان چهارمحال و بختیاری از ارتفاع بالایی برخوردار است و یک منطقه کوهستانی است و صخره‌های گرانیتی (که اورانیوم بیشتری دارند) زیادی در این منطقه کوهستانی وجود دارند، به نظر می‌رسد که میزان پرتوهای زمینه در این منطقه بیشتر باشد. از طرفی جمعیتی که در این منطقه زندگی می‌کنند نیز در معرض خطر تشعشعات زمینه طبیعی زیادی می‌باشند که می‌تواند خطراتی از قبیل افزایش بروز سرطانهای مرتبط با این پرتوها را به دنبال داشته باشد.

با توجه به موقعیت جغرافیایی این استان و ارتفاع بالا و کوهستانی بودن آن انتظار می‌رود که میزان تشعشعات

کلیه اندازه‌گیریها در فصول بهار و تابستان و در روز انجام گرفته است.

در هر نقطه، ۸ اندازه‌گیری در طول ۸ دقیقه انجام شد که این مقادیر شامل کمترین و بیشترین مقدار و اعدادی بین این دو بود. سپس میانگین این ۸ مقدار به عنوان میزان میانگین پرتودهی برای آن منطقه محسوب گردیده است. در تمام اندازه‌گیریها مجموع پرتوهای کیهانی و زمینی اندازه‌گیری شده است. به دلیل این که استان چهارمحال و بختیاری هم دارای مناطق با ارتفاع بلندتر و هم ارتفاعهای متوسط می‌باشد، یعنی حداقل یک اختلاف ۱۰۰۰ متری بین مناطق اندازه‌گیری وجود داشت، بنابراین مناطق با ارتفاعهای بین ۱۶۵۰ تا ۲۰۹۹ متر به عنوان مناطق با ارتفاع کمتر و مناطق با ارتفاعهای بین ۲۱۰۰ تا ۲۵۵۰ متر به عنوان مناطق با ارتفاع بلندتر تقسیم بندی شدند. میانگین آهنگ پرتودهی برای دو گروه فوق به طور جداگانه بررسی شد و میانگین پرتودهی برای تمامی مناطق با هم محاسبه گردیده و نتایج با هم مقایسه شده است.

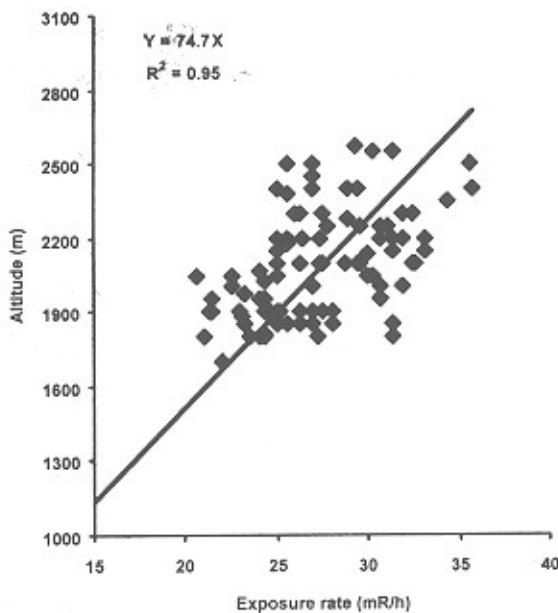
از آنجایی که مردم ۸۰ درصد اوقات در محیطهای بسته و ۲۰ درصد اوقات در محیطهای باز بسر می‌برند. لذا جهت محاسبه مجموع پرتوگیریهای محیطی از فاکتورهای اشتغال (Occupancy factor) ۰/۸ و ۰/۲ به ترتیب برای محیطهای بسته و باز استفاده می‌گردد (۲). به دلیل این که آشکارساز گایگر - مولر مقدار پرتودهی را بر حسب رونتگن (R) و یا واحدهای وابسته به آن اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین می‌بایست به طریقی مقدار پرتودهی را به دوز جذبی و یا تندی دوز جذبی تبدیل نمود. چرا که اندازه‌گیری مقدار دوز جذبی روش ساده‌ای نیست. برای تبدیل تندی پرتودهی به تندی دوز جذبی در هوا از فاکتور تبدیل $10^{-3} \times 69/8$ استفاده شده است (۳). از آنجایی که برای ایجاد یک جفت یون در هوا ۳۴ الکترون ولت (eV) انرژی نیاز است و هر رونتگن تعداد $10^{12} \times 1/61$ جفت یون در هوا تولید

زمینه طبیعی در این استان بیشتر از حد میانگین جهانی باشد. بنابراین، با اندازه‌گیری دقیق تشعشعات زمینه طبیعی این استان می‌توان زمینه تحقیقات دیگری نظیر ارتباط آن با شیوع سرطانها و مورتالیتی ناشی از آنها یا حتی ارتباط با طول عمر را نیز هموار نمود.

مواد و روشها:

برای تعیین میزان تشعشعات زمینه طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، تعداد ۱۰۰ نقطه به صورت تصادفی انتخاب گردید که ارتفاع کلیه نقاط نیز در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن ارتفاع نقاط انتخاب شده از نقشه‌های توپوگرافی جهاد سازندگی استان استفاده شده است. برای اندازه‌گیری میزان تشعشعات زمینه طبیعی از آشکارساز گایگر - مولر (مدل SUM-AD8 با مارک Ricken Fine و ساخت کشور ژاپن) استفاده شده است. این سیستم قادر است تندی پرتودهی را بین (میلی رونتگن بر ساعت) $0/1 \text{ mR/h}$ تا 100 mR/h (یا شمارش در دقیقه) 1 count/minute تا $30000 \text{ count/minute}$ اندازه‌گیری نماید. عمل کالیبراسیون سیستم توسط یک چشمه رادیوم استاندارد و همچنین چشمه کبالت صورت گرفت.

یکی از مزایای دستگاه گایگر - مولر استفاده شده در این تحقیق این است که علاوه بر میزان آهنگ پرتودهی، تعداد یونهای رسیده به اتاقک یون ساز آشکارساز را نیز نشان می‌دهد. به بیان دیگر توسط این آشکارساز، شمارش یونها در دقیقه نیز معلوم می‌گردد. آشکارساز گایگر - مولر در تمام اندازه‌گیریها در سطح زمین قرار داده شده و در فاصله ۶ متری از ساختمانها و دیوارها قرار گرفته تا پرتوهای ناشی از آنها اثر کمتری را روی آشکارساز داشته باشد. بدین طریق است که نهایتاً مقدار پرتودهی حاصل از کل تشعشعات زمینه، به آشکارساز می‌رسد و در اثر خاصیت یون سازی که در آشکارساز صورت می‌گیرد، می‌توان مقدار آنها را اندازه‌گیری نمود.



نمودار شماره ۱: ارتباط بین ارتفاع و مقدار آهنگ پرتودهی در صد نقطه انتخاب شده در استان چهارمحال و بختیاری.

مربوط به چم چنگ با ارتفاع ۱۹۰۰ متر و کوانک با ارتفاع ۲۳۰۰ متر می‌باشد. ارتباط بین ارتفاع مناطق و میزان آهنگ پرتودهی اندازه‌گیری شده، در نمودار شماره ۱ آورده شده است. چنانچه این نمودار نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع مناطق مورد بررسی، میزان آهنگ پرتودهی نیز افزایش می‌یابد و یک ارتباط خطی بین میزان آهنگ پرتودهی و ارتفاع مناطق وجود دارد. بر اساس اندازه‌گیریهای صورت گرفته، متوسط آهنگ پرتودهی در محیط باز در ارتفاعات بین ۱۶۵۰-۲۰۹۹ متر، برابر با $27/9 \mu\text{R/h}$ و متوسط آهنگ پرتودهی در محیط باز در ارتفاعات بین ۲۱۰۰-۲۵۵۰ متر، برابر با $28/4 \mu\text{R/h}$ و متوسط آهنگ پرتودهی در هوا در کل استان نیز برابر با $28/2 \mu\text{R/h}$ برآورد شده است.

محاسبات انجام شده بیانگر این است که متوسط دوز جذبی در گروه اول برابر با $48/5 \text{ nGy/h}$ و در گروه دوم برابر با $49/4 \text{ nGy/h}$ می‌باشد. از طرفی همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، مردم حدود ۲۰ درصد اوقات خود را در محیط باز بسر می‌برند و برای تبدیل پرتوگیری به دوز جذبی نیز در هوا از فاکتور $8/69 \times 10^{-3}$ استفاده شده

می‌کند، بنابراین می‌توان انرژی جذب شده در یک گرم هوا را به صورت ذیل به دست آورد:

$$1 \text{ R} = 1/61 \times 10^{12} \times 34 = 86/9 \text{ erg/g}$$

پس میزان دوز جذبی در هوا برابر است با:

$$D_{\text{air}} = 8/69 \times 10^{-3} \text{ Gy}$$

به عنوان مثال، در منطقه فارسان میزان پرتودهی حاصل از کل پرتوهای طبیعی زمینه (زمینی و کیهانی) برابر با $30 \mu\text{R/h}$ اندازه‌گیری شده است. چنانچه اشاره شد، برای تبدیل این میزان پرتودهی به دوز جذبی بر حسب μGy (میکروگری) در هوا از فاکتور $8/69 \times 10^{-3}$ استفاده می‌شود.

$$1 \mu\text{R} = 8/69 \times 10^{-3} \mu\text{Gy} = 8/69 \text{ nGy}$$

بنابراین میزان پرتودهی در فاکتور $8/69$ ضرب می‌شود و چون این اندازه‌گیریها برای محیط باز (outdoor) انجام گرفته است، در فاکتور $0/2$ نیز ضرب شده تا نهایتاً میزان دوز جذبی در هوا به دست آید:

$$30 \mu\text{R/h} \times 0/2 \times 8/69 = 52/1 \text{ nGy/h}$$

با در نظر گرفتن یک تقریب ساده نیز می‌توان دوز مؤثر ناشی از کل پرتوهای زمینه را محاسبه نمود. یعنی اگر دوز معادل مؤثر همان دوز جذبی در هوا در نظر گرفته شود، در نتیجه دوز مؤثر سالیانه ناشی از پرتوهای زمینه معمولاً بر حسب سیورت (Sievert) بیان می‌شود. برای منطقه مورد بحث (منطقه فارسان)، این مقدار به صورت زیر می‌باشد:

$$52/1 \text{ nGy/h} \times 8760 \text{ h/y} \times 10^{-6} \text{ mSv/nSv} = 0/45 \text{ mSv}$$

میزان دوز مؤثر برای تمامی مناطق مورد نظر به صورت فوق و به طور مشابه محاسبات لازم انجام گرفته است.

نتایج:

در اندازه‌گیریهای انجام شده، حداقل میزان پرتودهی محیط‌های باز برابر $15/6 \mu\text{R/h}$ و حداکثر مقدار آن $38/1 \mu\text{R/h}$ برآورد شده است که به ترتیب

مربوط به مقادیر متوسط آهنگ پرتودهی در هوای خارج، بیانگر پراکندگی زیاد مقادیر پرتودهی نقاط مختلف است.

پرتوهای کیهانی ثانویه، در ارتفاعات مختلف از سطح دریا دوزهای کاملاً متفاوتی را به بدن انسان می‌دهند و این خود به مقدار زیادی به ضخامت جو زمین مربوط می‌شود، که هر چه این ضخامت بیشتر باشد، اثر پرتوهای کیهانی بر روی بدن انسان کمتر می‌شود و دوز کمتری به مردم می‌رسد (۸،۵،۲). از طرفی نیز با توجه به اینکه پرتوهای زمینی از خاک و مصالح ساختمانی ناشی می‌شوند و نوع سنگهای منطقه هم بر میزان این تشعشعات تأثیر گذار است و با توجه به این که استان چهارمحال و بختیاری از ارتفاع بسیار بالایی برخوردار است و یک منطقه کوهستانی است و صخره‌های گرانیتی (که اورانیوم بیشتری دارند) در آن وجود دارند پس میزان تشعشعات بالایی را نشان می‌دهد.

میانگین آهنگ دوز جذبی در هوا در محیط‌های باز در کشورهای مختلف جهان بین $160-240 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ گزارش شده است (۹،۸). در مطالعه‌ای که توسط عالم خورشید در پاکستان و در سال ۱۹۹۸ انجام شد، میانگین دوز جذبی پرتوهای گاما در محدوده $80-60 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ و متوسط آن $70 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ برآورد شده است که از میانگین جهانی که $44 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ می‌باشد بیشتر است و علت آن را وجود صخره‌های گرانیتی زیاد در این منطقه ذکر کرده‌اند (۱). در تحقیقی که توسط دکتر سهرابی در سال ۱۹۹۷ انجام شده است آهنگ دوز جذبی در هوا در ۷ استان کشور بر اساس غلظت رادیونوکلیدهای خاک محاسبه گردیده و بیشترین میزان مربوط به استان مازندران برابر با $46-88 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ و کمترین آن مربوط به استان خوزستان برابر با $72-20 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ بوده است.

در تحقیق حاضر، میزان دوز جذبی بین مقادیر $11/27 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ تا $2/66 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ متغیر بوده و میانگین دوز جذبی در استان نیز برابر با $49 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ برآورد شده

است. بنابراین مقدار متوسط دوز معادل مؤثر سالیانه برای گروه اول $42/0 \text{ mSv}$ و مقدار متوسط آن برای گروه دوم نیز $43/0 \text{ mSv}$ می‌باشد. بررسیهای آماری نشان می‌دهد که بین این مقادیر برای ارتفاعات بلندتر و ارتفاعات کمتر اختلاف معنی داری وجود دارد. از آنجایی که میانگین آهنگ پرتودهی کل استان برابر با $28/2 \mu\text{Rh}^{-1}$ محاسبه شده است، بنابراین میانگین دوز جذبی برابر با $49 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ و همچنین متوسط دوز معادل مؤثر سالیانه نیز برابر با $49/0 \text{ mSv}$ برآورد شده است.

بحث:

به طور کلی بیش از ۹۰ درصد دوزی که افراد در محیط زیست خود دریافت می‌کنند، ناشی از پرتوهای منتشر شده از منابع طبیعی می‌باشد (۳،۲). پرتوهایی که در فضای اطراف ما وجود دارد، شامل پرتوهای یون ساز مختلف با انرژیها و منشأهای مختلف هستند و دارای سه منبع متفاوت می‌باشند. یکی پرتوهایی که از خارج از منظومه شمسی به زمین رسیده‌اند و دیگری پرتوهایی که ناشی از ذرات بارداری است که در لایه‌هایی که زمین را محصور کرده‌اند، محبوس شده‌اند. سومین منبع ممکن، پرتوهای ناشی از وقایع خورشیدی می‌باشد که تابش ذرات خورشیدی (Solar particle radiation) نامیده می‌شوند (۹). به تمامی انواع پرتوهای نام برده شده پرتوهای کیهانی اولیه گویند. این پرتوها با انرژی بیش از 1 GeV یک گیگا الکترون ولت به جو زمین برخورد می‌کنند. بدون شک، با برخورد به لایه‌های جو زمین و با برهم کنشهایی که با اتمهای داخل جو انجام می‌دهند، موجب پدید آمدن ذرات ثانویه‌ای همانند پروتونها و نوترونها می‌گردند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای مستقیم در این نواحی نشان می‌دهد که محدوده تغییرات آهنگ پرتودهی از پرتوهای گامای محیطی در محیطهای باز بین $6/15$ تا $1/38 \mu\text{Rh}^{-1}$ در سطح زمین می‌باشد. انحراف معیار زیاد

برآورد شده است و میانگین دوز معادل مؤثر سالیانه نیز 0.49 mSv می‌باشد که از مقادیر میانگین جهانی بیشتر بوده ولی از نقاط با پرتودهی بالای دنیا کمتر است.

با توجه به موقعیت جغرافیایی این استان و ارتفاع بلند و کوهستانی بودن آن و با توجه به این که میزان تشعشعات زمینه طبیعی بیشتر از حد میانگین می‌باشد، بنابراین شیوع سرطانها و ارتباط آنها با پرتوها و هم چنین اثر پرتوها بر روی طول عمر نیز سؤالانی است که باید به آنها پاسخ داده شود و به تحقیقات بیشتری در این موارد نیاز می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله نگارنده از کلیه کسانی که به نحوی در تحقق و نگارش این پژوهش همکاری نمودند، به‌الاخص آقای غلامرضا مبینی و سرکار خانمها فریبا هوشمند، سعیده صالح ریاحی و میترا لاله‌گانی تشکر و قدردانی می‌شود.

است. همانطوری که مشاهده می‌شود، این مقدار از میانگین جهانی آن که 44 nGy h^{-1} می‌باشد، بیشتر است. از طرفی دوز معادل مؤثر سالیانه نیز همانطوری که قبلاً ذکر شد، بر حسب mSv برای کلیه نقاط مورد مطالعه محاسبه شده و از 0.24 mSv تا 0.58 mSv متغیر بوده و میانگین آن نیز 0.49 mSv می‌باشد که از میانگین جهانی آن که 0.38 mSv می‌باشد، بیشتر است (۸، ۱۰). اندازه‌گیریهای حاصل از پرتوهای زمینه طبیعی استان، نشان می‌دهد که یک ارتباط مستقیمی بین ارتفاع و میزان آهنگ پرتودهی وجود دارد. بنابراین، ارتفاع به عنوان یکی از عوامل مؤثر در میزان دوز جذبی بوده به طوری که مناطق با ارتفاع بلندتر میزان دوز جذبی بیشتری را دارا می‌باشند. البته در بعضی از نقاط کم ارتفاع نیز میزان دوز جذبی بیشتری اندازه‌گیری شد و این مربوط به وجود صخره‌های گرانیتی و پرتوهای زمینی طبیعی می‌باشد. میانگین آهنگ پرتودهی $28/2 \mu\text{Rh}^{-1}$

References:

- 1- Butt KA.; Ali A.; Qureshi AA. Estimation of environmental gamma background radiation levels in Pakistan. Health Phys. 75(1): 63-6, 1998.
- 2- Cember H. Radiation dosimetry. In: Cember H. Introduction to health physics: From Pergamon Press. New York: USA, 1st ed. 135-76, 1983.
- 3- Hollins M. Measuring and controlling radiation. In: Hollins M. Medical physics: From McMillan. London: UK, 1st ed. 145-58, 1990.
- 4- Karunakara N.; Somashekarappa HM.; Avadhani DN.; Mahesh HM.; et al. Radium-226, Th-232, and K-40 distribution in the environment of Kaiga of south coast of India. Health Phys, 80(5): 470-6, 2001.
- 5- McAlinsh TF. Radiation protection and personnel monitoring. In: McAlinsh TF. Physics in medicine and biologyencyclopedia: From Pergamon Perss. New York: USA, vol 2. 621-40, 1986.
- 6- Niemann EG. Radiation biophysics. In: Hoppe W.; Lohmann W.; Markl H.; Zeigler H. Biophysics: From Springer-Verlag. Berlin: Germany, 299, 1983.
- 7- Quindos LS.; Fernandez PL.; Soto H.; Rodenas C.; et al. Natural radioactivity in Spanish soil. Health Phys, 66(2): 194-200, 1994.
- 8- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 1988.
- 9- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 1998.
- 10- United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations, New York: USA, 2000.